

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Пушилїна Олексїя Євгенїйовича

на тему «Метод обґрунтування характеристик енергетичної системи гїбридної турбоелектричної силової установки для пасажирського літака», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

**Актуальність теми дисертації.** Як відомо, розвиток сучасних авіаційних силових установок (СУ) для літаків цивільної авіації спрямований на зниження витрат палива та зниження викидів шкідливих речовин відповідно до планів, встановлених ІСАО та ІАТА. Нові екологічні стандарти для пасажирських літаків, прийняті ІСАО у 2026 році, посилюють вимоги до зниження забруднюючих викидів  $\text{CO}_2$  та  $\text{NO}_x$  для нових моделей літаків з 2031 року. Основні заходи включають перехід на екологічне авіапальне, зниження шуму та розробку двигунів на водневих технологіях для досягнення амбітної мети – чистого нульового рівня викидів  $\text{CO}_2$  у міжнародній авіації до 2050 року. Однак цільові екологічні показники, прийняті для пасажирських літаків 2035-2050 років, можуть бути досягнуті лише за комплексного вдосконалення елементів планера та СУ. Тому необхідні дослідження нових проривних конструктивно-технологічних та інноваційних рішень у галузі створення авіаційних двигунів, СУ і планерів ЛА.

Альтернативним напрямком розвитку ГТД є перехід до нових схем СУ, зокрема гїбридних силових установок (ГСУ). Поєднання теплового та електричного двигунів дозволяє суттєво підвищити паливну ефективність ЛА, знизити шкідливі викиди та підвищити економічність експлуатації. Гїбридні турбоелектричні силові установки (ГТЕСУ) здатні забезпечити економію палива до 60% в залежності від профілю польоту.

Дисертаційна робота Пушилїна Олексїя Євгенїйовича, яка присвячена вирішенню надзвичайно актуальній науково-технічній задачі покращення паливної та екологічної ефективності ГТЕСУ з турбогвинтовим двигуном

(ТГвД) для пасажирського літака на основі удосконалення енергетичної системи (ЕнС) з електричним двигуном (ЕД) та паливними елементами (ПЕ) є своєчасною та відповідає актуальним потребам світового літакобудування та авіадвигунобудування.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.** Мета і завдання дослідження сформульовані логічно та узгоджено, базуються на аналізі науково-технічних задач і науково-методичному апараті щодо стану розробки і застосування ГТЕСУ.

У дисертаційній роботі використовувались методи математичного моделювання, ретроспективний метод, експериментальний метод, аналітичний метод, метод імітаційного моделювання. В основі математичних моделей лежать методи теорії авіаційних двигунів, конструкції теплових двигунів, динаміки польоту ЛА, розділи електрохімічної енергетики, теплофізика та термодинаміка процесів у енергетичній системі ГТЕСУ.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, результатів, висновків і рекомендацій забезпечуються коректним застосуванням загальноновизнаного математичного апарату, несуперечливістю з відомими положеннями теорії авіаційних двигунів, методів імітаційного моделювання, обґрунтованим вибором, основних припущень та обмежень, прийнятих під час моделювання, а також збіжністю результатів, отриманих під час практичного застосування розроблених моделей. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані у фахових українських та міжнародних виданнях, та апробовано на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях. Наукові положення і висновки, які сформульовані автором дисертаційної роботи, в достатньому обсязі віддзеркалюють постановку задачі дослідження та послідовність її вирішення.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає у наступному:

1. Удосконалено метод обґрунтування параметричного обрису гібридної турбоелектричної силової установки пасажирського літака.

2. Удосконалено методику розрахунку характеристик енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової установки з турбогвинтовим двигуном, електричним двигуном та паливними елементами.

3. Удосконалено показник гібридизації для оцінювання гібридної турбоелектричної силової установки з турбогвинтовим двигуном, електричним двигуном та паливними елементами.

4. Отримано нові залежності маси та об'єму енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової установки від показника її гібридизації для нових проєктів пасажирських літаків вміщенням 20, 50 та 100 пасажирів.

**Практична цінність отриманих результатів.** Основні практичні результати роботи впроваджено у вигляді програмного комплексу для підвищення продуктивності розрахунків та вибору оптимальних характеристик ГТЕСУ з ТГВД, ЕД та ПЕ у складі пасажирського літака. На стадіях концептуального проєктування ГТЕСУ у складі пасажирського літака можливо суттєво зменшити час для прийняття аргументованого технічного рішення щодо визначення оптимального ступеня гібридизації ГТЕСУ.

Впроваджена методика розрахунку характеристик ЕнС ГТЕСУ з ТГВД, ЕД та ПЕ забезпечує багатокритеріальне порівняння альтернативних архітектур гібридних силових установок для ідентифікації оптимальної конфігурації під заданий польотний цикл. При цьому удосконалений показник гібридизації ГТЕСУ з ТГВД забезпечує для дослідника точне визначення енергетичного внеску окремих паливних компонентів (традиційного гасу, водню та SAF) у підсумкову електричну потужність на валу гвинта.

Методика розрахунку характеристик повітряного гвинта ТГВД у складі ГТЕСУ дозволяє оптимізувати час розрахункових досліджень та завчасно оцінювати експлуатаційні показники пасажирського літака.

Основні результати дисертації впроваджені у навчальному процесі НАУ «ХАІ», у науково-технічних дослідженнях в АТ “Івченко-Прогрес”, АТ “Мотор Січ”, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Подальше практичне використання результатів роботи є доцільним в науково-дослідних установах, підприємствах промисловості та авіаційного

транспорту України, які займаються проєктуванням, виготовленням та модернізацією ГТД з різним рівнем гібридизації.

**Оформлення дисертаційної роботи, дотримання вимог академічної доброчесності.** За своїм змістом дисертаційна робота Пушилїна Олексія Євгенійовича відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування та напрямкам досліджень відповідної освітньо-наукової програми, є завершеною науковою працею і свідчить про наявність вагомого особистого внеску здобувача.

Дисертаційна робота містить анотації українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг роботи 288 сторінок, з яких: зміст на 5 сторінках, перелік умовних скорочень на 4 сторінках, вступ на 11 сторінках, основний текст на 145 сторінках, список використаних джерел на 36 сторінках (із 315 найменувань). Робота містить 11 таблиць, з яких 3 таблиці на 3 окремих сторінках, 16 рисунків, з яких 3 рисунки на 3 окремих сторінках, 4 додатків на 81 сторінці.

Оформлення дисертації відповідає усім діючим вимогам, всі розділи є логічно зв'язаними і направлені на вирішення поставлених задач, жоден розділ не виділяється з усієї структури роботи, матеріал подано рівномірно. Текст дисертаційної роботи написаний грамотною мовою, легко сприймається при опануванні, та з коректним використанням технічних термінів.

Дисертаційна робота пройшла перевірку на антиплагіат, яка показала відсутність ознак академічного шахрайства і порушень академічної доброчесності.

Оформлення дисертаційної роботи повністю відповідає усім діючим вимогам, а її автор дотримався вимог академічної доброчесності.

**Мова та стиль викладення результатів.** Дисертаційна робота написана українською мовою на високому науково-технічному рівні, з чіткою логічною структурою та використанням відповідної спеціалізованої термінології у галузі теорії авіаційних двигунів, конструкції теплових двигунів, динаміки польоту ЛА, електрохімічної енергетики, теплофізики та термодинаміки процесів у енергетичній системі ГТЕСУ. Матеріал викладено

послідовно і доступно. Робота належним чином ілюстрована рисунками та таблицями, що суттєво сприяє сприйняттю результатів.

**Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.** Основний зміст дисертації відображено у 8 наукових статтях (4 статті опубліковані у закордонних виданнях проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus, 4 статті опубліковані у періодичних наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України), 5 публікаціях у матеріалах і тезах конференцій, 1 патенті України на корисну модель та 3 свідоцтвах України на промисловий зразок.

Публікації Пушилїна Олексія Євгенійовича відповідають сучасному науковому рівню, пройшли рецензування відповідно до вимог видань. Особистий внесок здобувача у публікаціях, виданих у співавторстві, є суттєвим і чітко визначеним. Публікації охоплюють усі основні результати дисертаційного дослідження.

**Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.** Відзначаю, що дисертаційна робота загалом має високий науковий рівень. Але вважаю за необхідне висловити окремі зауваження та рекомендації:

1. В роботі не представлена математична модель польоту пасажирського літака з ГТЕСУ.

2. В роботі не розкритий науковий зміст дослідження 9 варіантів компоновальних схем пасажирських літаків.

3. В дисертаційній роботі не надано чітке пояснення щодо розміщення енергетичної системи на пасажирському літаку, що викликає питання щодо зміни балансування літака у польоті.

4. Не розкрита фізична сутність отриманої закономірності зміни часткового показника співвідношення енергій  $\xi_i$  літака Пр20\_ГСУ-1 з  $\Pi_{ГТЕСУ}=0,2$  від дальності польоту (рис. 4.6, стор. 185).

5. Автору було б доцільно пояснити різницю між розробленими математичними моделями та розрахунковими модулями в удосконаленому методі (рис. 2.4, стор. 122).

Висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичне значення результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

**Висновки.** Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пушиліна Олексія Євгенійовича на тему «Метод обґрунтування характеристик енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової установки для пасажирського літака» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням. За сукупністю теоретичних і практичних результатів вирішена актуальна науково-технічна задача щодо покращення паливної та екологічної ефективності гібридної турбоелектричної силової установки з турбогвинтовим двигуном для пасажирського літака, що має суттєве значення для галузі знань 14 Електрична інженерія.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44.

Здобувач Пушилін Олексій Євгенійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

**Рецензент:**

Кандидат технічних наук, доцент,  
проректор з науково-педагогічної роботи  
Національного аерокосмічного  
університету «Харківський авіаційний інститут»

Андрій ГУМЕННИЙ